

KARAKTER

TIJDSCHRIFT VAN WETENSCHAP

HOME

|

ARCHIEF

|

CATEGORIEËN

|

REDACTIE

|

ABONNEREN

Zoeken

HOME

SECTIES



Presidenten voor het leven?

KOENRAAD BOGAERT

Organen van eigen kweek

RUBEN BOON EN NICKY HELSEN EN CATHERINE VERFAILLIE

Het culturele leven van wilde chimpansees

EDWIN VAN LEEUWEN

Het Bruto Binnenlands Product voorbij

KOEN DECANCO

Wordt dampen het nieuwe roken?

ELS WAUTERS EN KRISTIAAN NACKAERTS

Het stervende dorp

FRANS THISSEN

De cambrische explosie, en wat voorafging

ROBERT SPEIJER

De rechtvaardiging van de menswetenschappen

STEFAN CUYPERS

Deel dit artikel

Vind II

waar en wanneer het leven precies is ontstaan, is nog steeds een raadsel. in het onderzoek naar de eerste levensvormen spelen fossielen een cruciale rol. in hun multidisciplinaire studie the cambrian explosion. the construction of animal biodiversity geven douglas erwin en james valentine een fascinerende beschrijving van hoe het leven zich tijdens het cambrium in een razend tempo diversifieerde.

De cambrische explosie, en wat voorafging

Robert Speijer

Waar en wanneer het leven is ontstaan weten we niet. Ontstonden de eerste levensvormen rond 'vulkanische schoorstenen' in de diepzee, of werden ze juist gevormd in poeltjes op het land? Of is het leven helemaal niet op aarde ontstaan, maar werd het vanuit de ruimte ingezaaid, zoals de hypothese van panspermie ons wil doen geloven? De meteoriet ALH84001 van Mars lijkt die hypothese te ondersteunen, maar de nanostructuren die hierin gevonden werden, hebben wellicht helemaal geen organische oorsprong. Misschien moeten we ons neerleggen bij de gedachte dat we ons begin nooit met zekerheid zullen kunnen identificeren, ook al blijft de zoektocht spannend. Het vervolg van het verhaal wordt echter wel steeds duidelijker. Hiervan getuigt onder andere de indrukwekkende multidisciplinaire synthese van de Amerikaanse paleontologen Douglas Erwin en James Valentine in *The Cambrian Explosion. The Construction of Animal Biodiversity*. Directe bewijzen in de vorm van fossielen spelen een centrale rol in deze synthese.

De oudste onbetwiste indicaties van leven worden in Australië gevonden in stromatolieten van 3,5 miljard jaar oud

De oudste onbetwiste indicaties van leven worden in Australië gevonden in stromatolieten van 3,5 miljard jaar oud. Deze fijngelaagde gesteenten werden gevormd door fotosynthetiserende blauwalgen in algenmatten op ondiepe zeebodems. Tegenwoordig vindt dit proces nog slechts op enkele plaatsen op aarde plaats (bijvoorbeeld in Shark Bay in Australië). Tijdens het Proterozoïcum (2500 tot 541 Ma = miljoen jaar geleden) hadden de stromatolieten echter een wereldwijde verspreiding. De blauwalgen produceerden toen bij hun fotosynthese voor het eerst een uiterst waardevol afvalproduct: zuurstof. Maar doordat de oeroceanen enorme hoeveelheden opgelost ijzer bevatten, werd aanvankelijk alle geproduceerde zuurstof direct gebonden in ijzeroxiden die neersloegen op de zeebodem. Indirect produceerden de algen zo ook de grootste ijzerertsvoorraden op aarde. Al met al duurde het nog lang voordat er voldoende vrije zuurstof in het zeewater beschikbaar was voor de opkomst van dierlijk leven, maar in de tussentijd stond de evolutie van de eerste eukaryoten (cellen met celkern) in de zeeën en oceanen niet stil. Lange tijd werd aangenomen dat acritarchen, eencelligen met een fossiliseerbare organische wand, pas rond 1600 Ma voor het eerst verschenen. Een onderzoekster van de Universiteit van Luik vond enkele jaren geleden echter acritarchen in gesteenten in Zuid-Afrika die maar liefst tweemaal zo oud waren. Dat is zelfs op de geologische tijdschaal een reuzensprong. Toch duurde het zeker tot 1000 Ma, voordat fotosynthetiserende acritarchen in tal van nieuwe soorten begonnen te diversifiëren. Dit zou erop kunnen duiden dat er inmiddels ook organismen geëvolueerd waren die deze acritarchen aten, maar daarvoor is vooralsnog geen direct bewijs gevonden.

Om de eerste sporen van dierlijk meercellig leven te ontdekken moeten we nogmaals in de tijdscapsule stappen tot zo'n 400 miljoen jaar later, dat wil zeggen tegen het einde van de Cryogeniaanperiode (850-635 Ma). Deze periode werd gekenmerkt door de zwaarste ijstijden op de wereld ooit, mogelijk zelfs een 'Snowball Earth'. Zelfs in deze periode komt de klassieke paleontoloog nog niet helemaal aan zijn trekken, want de min of meer directe aanwijzingen voor de eerste dieren vinden we slechts terug als fossiele biomarkers, organische verbindingen in het sediment. Deze verbindingen zijn identiek aan verbindingen die vandaag alleen door bepaalde sponsdieren gevormd worden en het is dus niet onaannemelijk dat de teruggevonden verbindingen ook van sponsdieren afkomstig zijn. Dit past bovendien uitstekend bij de resultaten van moleculaire afstammingsstudies van moderne dieren: de primitieve meercellige sponsdieren waren wellicht de eerste dieren die de zeebodem bevolkten. De eerste echte lichaamsfossielen van sponsdieren, van het geslacht *Thectardis*, worden echter pas gevonden in gesteenten met een ouderdom tussen 580 en 541 Ma (Ediacaraanperiode). Ze worden samen aangetroffen met resten van andere organismen, die bekend staan als de Ediacara biota, genoemd naar een locatie in Australië. De Ediacara biota zijn bijzonder omdat geen enkele een hard skelet had. De resten zijn beperkt tot afdrukken in het omringende sediment waarin de organismen soms levend zijn begraven en als doodsmaskers werden bewaard. De bekendste Ediacara biota zijn voorzien van fraaie namen als *Dickinsonia*, *Aspidella*, *Spriggina* en *Tribrachidium*. Doorgaans waren ze maar enkele centimeters groot, maar uitzonderingen bevestigen de regel: de lintvormige *Trespassia* kon een lengte van bijna twee meter bereiken. Was dit dan eindelijk het begin van de explosie van levensvormen waar alle moderne organismen van afstammen? Waarschijnlijk niet. Sommige van de ruim tweehonderd beschreven Ediacara geslachten lijken oppervlakkig wat op moderne zeedieren, zoals zeeveren, maar met uitzondering van de neteldieren en sponsdieren neemt men tegenwoordig algemeen aan dat de meeste Ediacara biota geen moderne verwanten hebben. Vele geslachten lijken zelfs geen spijsverteringskanaal te hebben, en het is dus zelfs niet helemaal zeker of *Dickinsonia* en andere eigenlijk wel dieren waren. De uitwendige geplooiden structuren suggereren dat het voedsel – opgeloste organische moleculen? – direct uit het zeewater opgenomen werd.

Zo plotseling als de Ediacara biota uit het niets lijken te verschijnen, als de eerste meercelligen na de laatste ijstijdperiode van het Proterozoïcum, zo eigenaardig is het dat ze kort voor het Cambrium (vanaf 541 Ma) al weer volledig verdwijnen. Eén van de grote vragen is of dit echt een geleidelijk verdwijnen van de groep betekent (bijvoorbeeld ten gevolge van de opkomst van predatoren – waar geen fossiel bewijs van bestaat) of slechts een kunstmatig beeld, veroorzaakt door een afname van de gunstige milieucondities voor het bewaren van deze weke dieren in de zeebodem. In ieder geval worden de Ediacara biota ook niet in de fossiele *Lagerstätten* van het Cambrium aangetroffen, en dus kunnen we concluderen dat ze al eerder waren uitgestorven.

Aan het begin van het Cambrium kwam er voor het eerst talrijk kruipend en gravend leven op en in de zeebodem voor

Zo komen we na een tijdreis van 4 miljard jaar sinds het ontstaan van de aarde uit bij het tijdperk van het 'zichtbare leven', ofwel het Fanerozoïcum met als oudste periode het Cambrium. Traditioneel werd het begin van het Cambrium geassocieerd met het verschijnen van de eerste trilobieten, een markante groep

van platte geleedpotigen met een hard pantser van calciëet, die oppervlakkig bekeken wat lijken op grote pissebedden. Dit beeld is tegenwoordig echter volledig gedateerd, want er worden nu ook regelmatig kleine fossielen met harde skeletdelen gevonden onder de gesteentelagen met de eerste trilobieten, die dus ouder zijn. Daarom plaatsen geologen de grens tussen het Proterozoïcum en Fanerozoïcum nu een stukje dieper in de gesteentekolom en dus verder terug in de tijd, zo'n 20 miljoen jaar voor het verschijnen van de trilobieten. De basis van het Cambrium wordt nu niet langer gedefinieerd door een kenmerkend lichaamsfossiel, maar door een plotseling talrijk voorkomend sporenfossiel, meer bepaald het graafspoor *Treptichnus pedum*, waarvan we het eigenlijke diertje dat het spoor maakte niet kennen. Tegelijkertijd weten we hiermee ook dat er aan het begin van het Cambrium voor het eerst talrijk kruipend en gravend leven op en in de zeebodem voorkwam. Dit vormt een scherp contrast met de Ediacara biota, waarvan de meeste soorten als planten op de zeebodem zaten vastgehecht of als kwallen met de stroom meedreven. De actieve voortbeweging impliceert innovaties van het leven tijdens het vroege Cambrium: er werd op grote schaal actief naar voedsel gezocht op en in het sediment. Dit betekent dat ondiepe zeeën inmiddels ook voldoende zuurstof bevat moeten hebben om zo'n actieve levenswijze mogelijk te maken. Vermoedelijk begonnen sommige prooidieren zich al in te graven om te ontkomen aan de eerste jagers, een overlevingsstrategie die nog steeds succesvol gehanteerd wordt door talloze organismen, zoals tweekleppigen en zee-egels. Tegelijk met de opkomst van allerlei foeragerende organismen op het sediment (grazers, jagers en scharrelaars) verloren ook de algenmatten steeds meer terrein: ze werden afgegraasd, doorboord en omgeploegd. Dit betekende het einde van de hoogtijdagen van de mariene stromatolieten, die sindsdien alleen nog in extreme milieus gevormd worden, zoals zeer zoute lagunes, waar nauwelijks andere organismen kunnen overleven en de gelaagde structuur niet vernietigd wordt. De kleine schaalpjes en skeletelementen van het vroegste Cambrium zijn niet groter dan enkele millimeters, wat verklaart waarom ze lange tijd nauwelijks gevonden en herkend werden. Ze worden nu toepasselijk gegroepeerd onder de noemer van Small Shelly Fauna (SSF). Deze fauna vormt een prominente schakel in de ontwikkeling van het leven: ze bevat oervormen van diverse groepen, zoals weekdieren, brachiopoden en koralen, die later tijdens het Cambrium en daarna het leven op de zeebodem zouden gaan domineren. Die ontwikkeling vond plaats in een tijd dat het klimaat, het zuurstofgehalte in de atmosfeer en de koolstofkringloop op een tijdschaal van enkele miljoenen jaren voor het laatst extreme veranderingen vertoonden. Het is zeer aannemelijk dat deze schommelingen hun effect hadden op de evolutie van het mariene leven, zoals dat later bij geringere schommelingen ook het geval was. Een fundamentele vraag die zich hierbij echter ook opwerpt is in welke mate de evolutie van de mariene biosfeer bijdroeg tot de stabilisering van de koolstofkringloop en het paleoklimaat. Deze omgekeerde benadering kreeg tot nog toe relatief weinig aandacht, maar uit latere periodes weten we dat bepaalde ontwikkelingen van de biosfeer een enorme impact hadden op het klimaat. Zo onttrok bijvoorbeeld de vorming van uitgestrekte moerasbossen tijdens het Carboontijdperk zoveel koolstof aan de atmosfeer – de koolstof die opgeslagen is in enorme voorraden steenkool – dat er rond 320 Ma opnieuw een langdurig ijstijdvak aanbrak. Tijdens het Cambrium bestond er nog geen leven op het land, maar werden er wel mariene ecosystemen gevormd die steeds meer stikstof en fosfaat consumeerden en de voedingsstoffen deels vastlegden in het sediment. De interactie tussen leven en omgeving werd in ieder geval steeds

complexer naarmate het leven zich verder diversifieerde.

Dat leven diversifieerde zich tijdens het Cambrium zo sterk, dat hiervoor de term cambrische explosie werd geïntroduceerd en de snelle ontwikkeling van de SSF vanaf 535 Ma vormde het begin ervan. In de enkele miljoenen jaren die daarop volgden ontwikkelde en diversifieerde het mariene leven zich in een razend tempo. Tot 520 Ma wordt alleen de SSF wereldwijd aangetroffen, maar dan verschijnen plotseling de eerste trilobieten en vertegenwoordigers van vrijwel alle moderne stammen van ongewervelde zeedieren. De huidige vormverscheidenheid van zeedieren dateert dus al uit het vroege Cambrium.

De meeste fossielen uit die tijd komen uit gesteenten uit de omgeving van de stad Chengjiang in China. Deze gesteenten vormen een zogenaamde fossiele *Lagerstätte*, dat wil zeggen dat ze voornamelijk fossielen bevatten van organismen die onder normale condities niet bewaard zouden blijven, omdat ze geen hard skelet hebben. De *Lagerstätte* van Chengjiang kon worden gevormd door een regelmatig gebrek aan zuurstof op de zeebodem, waardoor zeebodembewoners verstikten en het sediment lange tijd niet meer omgewoeld werd. Het gevolg was de vorming van een zeer fijngelaagd kleirijk gesteente dat eruitziet als een dik boek met talloze bladzijden en waarin de fossielen als bloemen in een droogboek platgedrukt zitten tussen de flinterdunne laagjes. Door de afwezigheid van zuurstof, aaseters en aerobe bacteriën bleven naast harde schalen, zoals de pantsers van trilobieten, ook zachtere organische pantsers in het gesteente bewaard. In de *Lagerstätte* van Chengjiang werden al tweehonderd verschillende organismen aangetroffen (waarvan slechts vijftien procent met harde pantsers) en dankzij actief verzamelen door de lokale bevolking zal dit aantal zeker nog toenemen. De fauna van Chengjiang bestaat voor meer dan de helft uit geleedpotigen en aanverwante groepen, zoals de anomalocariden ('vreemde garnalen'), de vermoedelijke topjagers van de cambrische zeeën. Daarnaast levert de *Lagerstätte* van Chengjiang, samen met de iets jongere *Lagerstätte* van Burgess in Canada ook de oudste directe bewijzen van het voorkomen van visachtigen (bijvoorbeeld *Myllokunmingia* en *Pikaia*) en dus van de eerste gewervelden. Andere dieren staan bekend onder wonderlijke namen als *Opabinia* en *Wiwaxia*, maar de mooiste van allemaal is misschien wel *Hallucigenia*, een organisme dat in de eerste reconstructie op een reeks van stelten leek te lopen, maar waarbij de studie van beter bewaarde exemplaren tot het inzicht leidde dat het niet gaat om stelten aan de onderzijde maar om stekels aan de bovenzijde. Het talrijke voorkomen van harde en zachtere pantsers, alsook van stekels bij veel dieren, illustreert zeer fraai dat de onderzeese wapenwedloop die tot op vandaag voortduurt al in het vroege Cambrium stevig op gang was gekomen.

De *Lagerstätte* van Chengjiang en de iets jongere *Lagerstätte* van Burgess in Canada leveren de oudste directe bewijzen van het voorkomen de eerste gewervelden

De Chengjiang en Burgess *Lagerstätten* leveren een fantastische documentatie van de explosie van leven, maar het zijn slechts twee zeer lokale en in de tijd verspreide vensters die een doorblik mogelijk maken op de vorming van mariene biodiversiteit tijdens het Cambrium. De volledige ontwikkeling blijft grotendeels versluierd door de bewaringsfilter van gesteentevorming, waarbij doorgaans alleen harde minerale skeletten bewaard blijven. Het overgrote deel van het geologische archief biedt dus een zeer incompleet beeld van de mondiale biodiversiteit in absolute getallen, een beeld dat bijna volledig gedomineerd wordt door organismen met harde schalen en skeletten, en dat slechts incidenteel in ruimte en tijd aangevuld wordt door informatie uit fossiele *Lagerstätten*. Dat betekent ook dat ons beeld van de evolutionaire

innovaties tussen 541 en 520 Ma verre van volledig is. Wanneer kwamen de tweehonderd soorten van Chengjiang werkelijk tot ontwikkeling? Tegelijk met de SSF, of zelfs al eerder? Zonder nieuwe vondsten van nog oudere *Lagerstätten* zullen we dat niet weten. Biologische technieken bieden echter ook een alternatieve aanpak om het gat te dichten. Recente resultaten op basis van de evolutie van stukjes DNA of RNA van moderne organismen, de zogenaamde moleculaire klok, lichten een tip van de sluier op: soortenrijke stammen als de geleedpotigen en brachiopoden ontstonden ook volgens deze methode aan het begin van het Cambrium, de eerste weekdieren tijdens het late Ediacaraan en de eerste sponsdieren (en neteldieren), zoals besproken al veel eerder, gedurende het Cryogeniaan. De resultaten uit de verschillende methoden lijken dus te convergeren, wat een teken is dat de ontwikkelingen in de tijd op hun plek beginnen te vallen.

Tot slot: in dit essay staan fossielen centraal in de ontwikkeling van het leven. Het zal echter duidelijk zijn geworden dat deze informatie niet los gezien kan worden van de ontwikkeling van de aarde als geheel, en van de uiteenlopende methoden die ingezet worden om de geschiedenis te achterhalen en de processen en interacties tussen de verschillende aardse sferen te begrijpen. Toekomstig voortschrijdend inzicht in deep time ontwikkelingen zal moeten komen van een interdisciplinaire aanpak van het onderzoeksmateriaal: de aarde en het leven zelf.

Douglas H. Erwin en James W. Valentine, *The Cambrian Explosion. The Construction of Animal Biodiversity*. (Roberts and Company Publishers, 2013).

Deel dit artikel

Gerelateerde artikelen

Geen neolithicum zonder aardewerk

Archeologie tussen geloof en wetenschap

Vind II



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported License

ACADEMISCHE STICHTING LEUVEN |

COLOFON |

CONTACT |

LINKS